

Neue Konzepte für die Erzeugung von fs-Lichtpulsen durch Halbleiterlaser

Kurzfassung

Jan C. Balzer

Halbleiterlaser sind mit einer Abmessung von einigen mm sehr kompakt und durch die Möglichkeit der Massenherstellung kosteneffizient. Die Variation der verwendeten Halbleitermaterialien erlaubt die Abdeckung eines großen spektralen Bereichs. Die einzigartige Möglichkeit der elektrischen Anregung ermöglicht eine einfache Bedienung und Wartung des Halbleiterlasersystems. Trotz dieser Vorteile ist bis heute kein modengekoppelter Halbleiterlaser kommerziell erhältlich.

Der Grund hierfür ist eng mit der Möglichkeit der elektrischen Anregung verknüpft. Wird ein Puls durch das Halbleitermaterial verstärkt, wird die Anzahl der angeregten Ladungsträger stark reduziert (Sättigung der Verstärkung). Eine Änderung der Verstärkung ist physikalisch mit einer Änderung des Brechungsindex verknüpft, was durch die Kramers-Kronig-Relation beschrieben werden kann und als Selbstphasenmodulation bezeichnet wird. Eine Änderung der Ausbreitungsgeschwindigkeit für unterschiedliche spektrale Anteile ist die Folge. Dies äußert sich in einer zeitlichen Verbreiterung des Pulses bzw. einer Reduktion der spektralen Bandbreite und ist eine der wesentlichen Ursachen für den kommerziellen Misserfolg von modengekoppelten Halbleiterlasern.

Im Rahmen der Arbeit werden verschiedene Konzepte vorgestellt, um dieses Problem zu lösen. Zunächst werden grundlegende Eigenschaften des verwendeten Lasermaterials, wie die optische Verstärkung und der Einfluss der Gegenspannung auf den sättigbaren Absorber untersucht. Anhand eines einfachen Resonators wird der Einfluss von resonatorinternen Verlusten charakterisiert. Es wird ebenfalls die Möglichkeit der Pulserzeugung mit unterschiedlichen Wiederholraten untersucht und ein optischer Verstärker auf Halbleiterbasis charakterisiert.

Eine Optimierung der resonatorinternen Dispersion durch einen Fourier-Transform External-Cavity Laser (FTECAL) führt zu einer deutlichen Reduktion der zeitlichen Pulsdauer. Mit diesem Konzept war es möglich, die bis dato kürzesten Pulse mit einem elektrisch gepumpten Halbleiterlaser zu erzeugen. Um die Konkurrenzfähigkeit dieses Systems gegenüber Festkörperlaser zu demonstrieren, wurde es erfolgreich in einem THz-Time Domain Spectrometer (THz-TDS) verwendet.

Die Erweiterung des Konzeptes durch einen Flüssigkristallmodulator (SLM) erlaubt die gezielte Modulation der spektralen Phase und Amplitude. Mittels eines evolutionären Algorithmus gelingt eine weitere Optimierung des Lasersystems. Dies stellt die weltweit erste Verwendung eines SLM zur Phasen- und Amplitudenmodulation in einem Laserresonator dar und ist der erste Schritt in Richtung "Intelligente Lasersysteme".